



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Tesina

**DISEÑO DE 1.5 KM DE PAVIMENTO ARTICULADO, DEL TRAMO “ESTELÍ –
COMUNIDAD EL LIMÓN” EN EL MUNICIPIO DE ESTELÍ, DEPARTAMENTO
DE ESTELÍ.**

Para optar el título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Gerald Antonio Calderón Ponce

Br. Silvia Pastora Zelaya Aguilera

Tutor

Ing. Sergio Junior Navarro Hudiel

Managua, Agosto 2015

Managua, Agosto 2015.

Doctor

ING. OSCAR ISAAC GUTIÉRREZ SOMARRIBA

Decano

Facultad de Tecnología de la Construcción – UNI

Su Oficina.

Estimado Dr. Gutiérrez:

Por este medio tengo a bien informarle que la tesina que lleva por nombre: **“DISEÑO DE 1.5 KM DE PAVIMENTO ARTICULADO, DEL TRAMO “ESTELÍ – COMUNIDAD EL LIMÓN” EN EL MUNICIPIO DE ESTELÍ, DEPARTAMENTO DE ESTELÍ.”**, está lista para entrar en el proceso de pre-defensa, la cual fue realizada por los Bachilleres: **Gerald Antonio Calderón Ponce y Silvia Pastora Zelaya Aguilera**, bajo mi tutoría.

Adjunto documento final de dicha tesina, para sus respectivas observaciones.

Sin más a que hacer referencia, le saludo.

Atentamente,

Msc. Ing. Sergio J. Navarro Hudiel

CC: Archivo



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DEPARTAMENTO DE COORDINACION DE FORMAS DE
CULMINACION DE ESTUDIOS**

HOJA DE CONCLUSIÓN DE TESINA

NOMBRE DE LOS SUSTENTANTES:

- 1) Br. Gerald Antonio Calderón Ponce
- 2) Br. Silvia Pastora Zelaya Aguilera

NOMBRE DEL CURSO: Obras Horizontales

NOMBRE DE LA TESINA:

Diseño de 1.5 Km de pavimento articulado, en el tramo “Estelí – Comunidad el Limón” del Municipio de Estelí, Departamento de Estelí.

ESPECIFIQUE LAS AREAS QUE ABORDARON EN LA TESINA:

- 1) Estudio de Tránsito
- 2) Estudio de Suelo
- 3) Diseño de Pavimento

FECHA DE DEFENSA:

VALORACIÓN DEL TUTOR SOBRE LA TESINA:

JURADO CALIFICADOR DE LA TESINA:

- 1)
- 2)
- 3)

FIRMA COORDINADOR: _____

FIRMA DEL TUTOR -----

CC: Archivo

DEDICATORIA

A DIOS, Por ser quien me permitió llegar hasta este punto, dándome siempre la fortaleza, sabiduría, fe y el conocimiento necesario a lo largo de toda esta etapa de mi vida, además de su infinita bondad y amor. “Si Dios Conmigo, Quien Contra Mí”.

A MI MADRE, Engracia Calderón, por su apoyo incondicional, por guiarme por el buen camino, con su ejemplo y sus consejos, por corregirme en lo malo y apoyarme en lo bueno, por ser lo mejor de mi vida y mi motivación, este logro es tuyo.

A MI HERMANA, Diana Calderón Por estar conmigo y apoyarme siempre, por aconsejarme cuando lo necesité, esto te lo debo a ti también.

A MIS AMIGOS, Por estar conmigo siempre, por compartir momentos buenos y malos, por nunca darnos por vencido y salir adelante ante las dificultades.

A MIS MAESTROS, Aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, y que nos ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de nuestra tesina.

A TODAS AQUELLAS PERSONAS, Que nos apoyaron a lo largo de nuestra formación académica y personal para poder lograr este éxito tan anhelado.

GERALD A. CALDERÓN

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a **DIOS** por habernos brindado la vida y por ser la luz que guía nuestras vidas permitiendo así la culminación de nuestros estudios para obtener una profesión.

A MI MADRE, por su apoyo incondicional, tanto económico, físico, espiritual y moralmente en todos los años para salir adelante y lograr la meta propuesta de llegar a obtener el Título de Ingeniero Civil.

A NUESTRA UNIVERSIDAD UNI, El más excelso agradecimiento, a la cual debemos nuestra formación académica y como persona, cuyos conocimientos obtenidos, seguiremos aportando al servicio de la sociedad.

A NUESTRO TUTOR, Ingeniero Sergio Junior Navarro por ayudarnos y brindarnos su tiempo y sus conocimientos para llevar a cabo nuestra tesina.

A TODAS AQUELLAS PERSONAS, que de alguna forma nos han apoyado en todo el curso para salir adelante y para la elaboración de la tesina.

GERALD A. CALDERÓN

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado el don de la vida y saber expresarme y pensar como tal; pues, es el guía de la sabiduría y marca el camino a los sabios.

A mis Padres, que me formaron con buenos sentimientos, hábitos, principios y valores; roca que cimentó el amor a Dios, al prójimo y así salir adelante en los momentos alegres y en los momentos más difíciles.

.

A mi hija: **Alba Belén Medrano Zelaya**, por ser mi mayor tesoro, la esperanza del mañana, la alegría que me motivó día a día y el motor de inspiración para poder culminar ésta etapa de mi vida profesional.

A mi novio: Por su preocupación e interés hacia mí para fortalecer mis ideales y en todo momento hacer perseverar y cumplir cada una de mis metas propuestas.

A mis hermanas, amigos y familia en general porque me han brindado su apoyo incondicional y compartir conmigo buenos y malos momentos.

Fueron ellos, con su presencia, su paciencia y devoción que me estimularon constantemente para alcanzar mis objetivos profesionales. Que Dios los bendiga siempre.

SILVIA P. ZELAYA AGUILERA.

AGRADECIMIENTO

A Dios por su infinita bondad, por haberme dado la fuerza, paciencia y tolerancia por hacer éste sueño realidad.

A mis padres quienes con sus consejos han sabido guiarme para culminar mi carrera profesional y sabiendo que jamás existirá una forma de agradecer una vida de lucha, sacrificios y esfuerzos constantes, siendo mi mayor deseo que sepan que mi logro, es también el logro de ellos, que mi esfuerzo es inspirado en ellos.

A mi hija porque su presencia es el motivo que necesitaba para culminar mi carrera profesional.

A mis hermanas, mi novio, amigos y demás familiares que estuvieron presentes en cada momento de mi vida.

A nuestro tutor por su valioso tiempo, apoyo y paciencia, por transmitir la sabiduría necesaria en la realización de la misma.

Gracias

Con cariño y admiración.

SILVIA P. ZELAYA AGUILERA.

RESUMEN EJECUTIVO

En el siguiente documento se presenta el diseño de la estructura de pavimento semiflexible (Adoquinado) de 1.5 km de longitud, el cual se encuentra situado en la Comunidad El Limón al sur oeste de la ciudad de Estelí.

De manera general los objetivos y resultados de esta tesina se presentan en IV capítulos, que a continuación se detallan:

- I. Generalidades
- II. Estudio de Tránsito.
- III. Estudio de Suelo.
- IV. Diseño de Pavimento.

Generalidades: Se describen aspectos básicos del proyecto tales como introducción, antecedentes, justificación y objetivos.

Estudio de Tránsito: El tránsito es uno de los aspectos más significativos a considerar en el diseño de pavimentos. Para diseñar los espesores del pavimento se calcula las repeticiones de los ejes que pasarán durante el período de diseño.

Para esto se estimó una tasa de crecimiento del **4.9%** la cual se considera estable, partiendo de un tránsito promedio Diario (TPDA)= 236 vehículos por día (vhp), obtenido mediante un aforo vehicular, tomando en cuentas los datos históricos del TPDA más cercano a la vía, se realizaron las correlaciones del TPDA-PIB y del TPDA-Población, para proyectar el tráfico actual, esto en un período de diseño de 15 años. Se obtuvo el número de repeticiones por eje equivalente (ESAL) o $W_{18} = 405,982$ ejes por carril de diseño.

Estudio de Suelo: Se realizó con el objetivo de conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo.

Para ello se hicieron sondeos de línea a lo largo del camino así como los bancos de materiales facilitados por la alcaldía de Estelí

A partir de los resultados, se logró conocer que existen dos tipos de material bien definidos en la capa superficial los cuales son A – 2 – 7 y A – 2 – 4. De la misma forma se encontraron materiales del tipo A – 6 y A – 2 – 6. Se clasifican como suelos arcillosos, y grava y arena limosas y arcillosas.

Diseño de Estructura de pavimento: Después de realizar las proyecciones del tráfico y conocer las propiedades y características del suelo se procedió a calcular los espesores del paquete estructural utilizando los nomogramas y luego el software AASHTO 86, para la comprobación del Diseño. Los principales parámetros asumidos para determinar los espesores, fueron:

Grado de ConfiabilidadR=85%.

Desviación Estándar.....So=0.45.

Capacidad de Servicio InicialPo=4.2.

Capacidad de Servicio Final.....Pt=2.0.

C.B.R. de Diseño.....Sub Rasante= 28%.

Módulo Resiliente..... MR= 14,656.

El paquete estructural para el tramo da como resultado: 4 pulgadas de espesor carpeta de rodamiento (adoquín), 4 pulgadas de base de la estructura del pavimento semiflexible.

ÍNDICE

Capítulo I: Generalidades

1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	4
1.4 OBJETIVOS	5

Capítulo II: Estudio de Tránsito

2.1 INTRODUCCIÓN	7
2.2 METODOLOGÍA.....	7
2.3 TASAS DE CRECIMIENTO	11
2.4 PROYECCIÓN DEL TRÁFICO.....	15
2.5 ESTIMACIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO	19

Capítulo III: Estudio de Suelos

3.1 INTRODUCCIÓN	21
3.2 TRABAJO DE CAMPO.....	21
3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS	22
3.4 FUENTES DE MATERIALES	26
3.5 CONSIDERACIONES DEL LABORATORIO	27

Capítulo IV: Diseño de Pavimento

4.1 INTRODUCCIÓN	30
4.2 MÉTODO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULADO AASHTO-93.	31
4.3 CONSIDERACIONES DEL DISEÑO AASHTO-93.....	32
4.4 PROPIEDAD DE LOS MATERIALES	38
4.5 DETERMINACIÓN DE ESPESORES Y NÚMEROS ESTRUCTURALES APORTADOS.....	43
5.1 CONCLUSIONES.....	47
5.2. RECOMENDACIONES	49
5.3 BIBLIOGRAFÍA.....	50
ANEXO A.....	I
ANEXO B.....	II
ANEXO C.....	IIIIV

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

La calidad de las carreteras que posee un país, una ciudad o pueblo, influye directamente en la calidad de vida y las oportunidades que se puedan crear a los ciudadanos, ya que una buena vía hace que se promueva el desarrollo económico, cultural y social.

Debido al mal estado en que se encuentran parte de las carreteras de nuestro país el gobierno de la República de Nicaragua a través del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), mantiene un plan de mejoramiento, rehabilitación y mantenimiento de la infraestructura vial del país con el fin de apoyar y fortalecer el desarrollo económico de la nación.

Actualmente el tramo “Estelí – comunidad El Limón” del municipio de Estelí posee problemas de circulación, el tramo está ubicado en la zona suroeste de Estelí hacia la comunidad el Limón del municipio de Estelí. Los habitantes que viven aledaños al camino catalogan a este tramo como punto de difícil acceso, debido a los daños que afectan a este en la época de invierno al igual que en época de verano, donde los baches hacen un viaje difícil para los conductores.

El método de diseño propuesto es de la AASHTO 93 en el cual se definen los espesores en función de las características y propiedades de los suelos que compondrán la sub-rasante, la sub-base y la base, así como también las características de la carpeta de rodamiento incorporando parámetros de diseño relacionados con la confiabilidad, módulos resilientes de materiales y las repeticiones de ejes equivalentes generados por el tráfico vehicular.

El estudio está ubicado en el tramo carretero Estelí – Comunidad el Limón, municipio de Estelí que pertenece al departamento de Estelí y está ubicado a 148 km al norte de Managua. Ver Figuras:

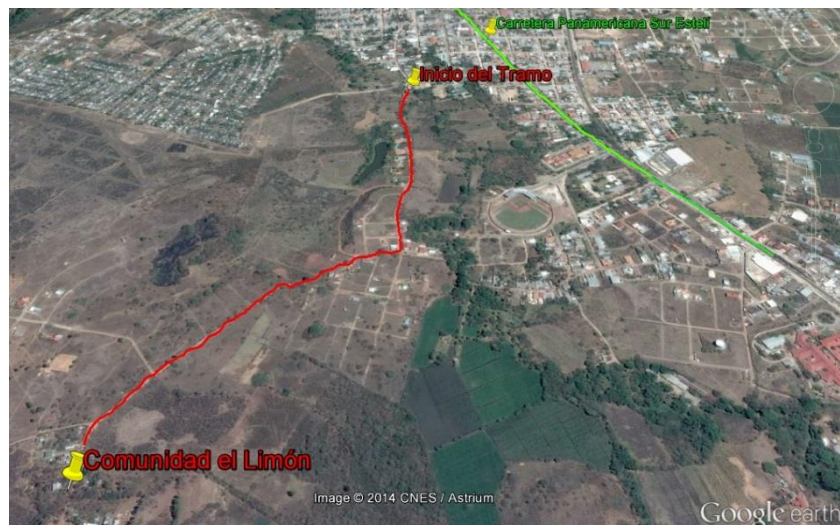
1.1.1 Macro localización del estudio.



Fuente: INETER

Edición: Photoshop

1.1.2 Micro localización del estudio.



Fuente: Google Earth 2014

Edición: Photoshop

1.2 ANTECEDENTES

La comunidad El Limón está ubicada a 1.5 km de la ciudad de Estelí, posee un clima agradable y fresco y sus tierras son aprovechadas para la agricultura, con cultivos como maíz, frijoles, tomate, y repollo. La comunidad cuenta con 160 habitantes y es una de las comunidades más antigua de la ciudad, su carretera de acceso tiene más de 50 años y nunca ha sido pavimentada además que tiene acceso a dos centros turísticos y dos urbanizaciones aledañas a ella.

En los últimos años ha venido aumentando la necesidad de calles en buen estado en todo tiempo debido a que esta zona perteneciente al casco urbano del municipio de Estelí está teniendo un crecimiento habitacional acelerado por lo tanto es una necesidad básica poseer calles con adecuados diseños de espesores que soporten el tráfico vehicular que por estas circulan.

En años anteriores la alcaldía municipal, ha hecho grandes esfuerzos por mejorar las condiciones del tramo en estudio, invirtiendo en el mantenimiento, no así en las condiciones básicas que debe cumplir su diseño.

En el año 2011 en el tramo de la comunidad El Limón, se realizó mantenimiento, el cual consistió en un revestimiento a nivel de base y se usó material selecto extraído del banco de materiales conocido como banco de La Thompson de la ciudad de Estelí.

Actualmente el tramo se encuentra constituido por una carpeta de rodamiento con material selecto, la cual presenta condiciones de circulación desfavorables. Existe un gran número de fallas, como cárcavas y baches a causa de las lluvias ocasionando grandes charcas y dificultando así el flujo libre del transporte, la calidad y comodidad del mismo, y a su vez el riesgo de incremento de enfermedades tipo epidemiológicas para los pobladores debido a la poca salubridad de la vía.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El municipio de Estelí, ha tenido un desarrollo muy importante en el rubro del Tabaco siendo catalogado como “la capital del tabaco”, además cuenta con una gran producción de cultivos tales como frijoles, maíz, papa y legumbres. El diseño de una carretera con pavimento articulado, vendría a darle un nuevo estatus al municipio, dándole reconocimiento por su inversión en obras sociales así como también teniendo calles y carreteras seguras.

Actualmente este tramo se clasifica por el tipo de superficie como camino de todo tiempo, por lo que es necesario realizar el diseño de estructura de pavimento, el cual responda eficientemente a las cargas producidas por los vehículos que circulan en este lugar.

Cabe mencionar que ante la ausencia de un adecuado revestimiento de este tramo, los pobladores se ven doblemente afectados, ya que en época seca debido a la acción del viento y al tráfico vehicular se genera una gran cantidad de polvo, el que ocasiona graves problemas respiratorios, enfermedades diarreicas, dérmicas y oculares, entre otras.

El tramo que va desde Estelí hacia la comunidad el Limón, presenta una carpeta de rodamiento con material de revestimiento efectuado por la alcaldía en el año 2011. Pese a las gestiones de los pobladores, ésta se encuentra altamente deteriorada por la falta de mantenimiento por la alcaldía del municipio, lo que genera altos costos de operación vehicular, acumulación de aguas pluviales en invierno, emisiones de polvo en verano así como la generación de vectores de enfermedades para las familias ubicadas a lo largo del tramo.

Una vez que sea ejecutado este proyecto se beneficiará de manera directa e indirecta a pobladores, transportistas y productores de la zona ya que se disminuirán los costos de operación vehicular reduciendo el tiempo de viaje, eliminación de vectores de enfermedades, así como reducción de polvo mejorando el estado de la vía e incidiendo en la economía local.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- Diseñar la estructura de pavimento articulado del tramo de carretera Estelí-Comunidad el Limón, por el método de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO 93).

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar por medio del estudio de tránsito, el número de repeticiones esperadas (ESAL's), en el período de diseño establecido, para conocer las cargas vehiculares actuales y futuras a las que estará sometida la estructura de pavimento.
- Evaluar los estudios de suelos para conocer la capacidad de soporte y las propiedades físico mecánicas a lo largo del tramo de camino y en el banco de materiales a usar.
- Determinar los espesores de la estructura de pavimento articulado que soportarán las cargas de diseño.

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE TRÁNSITO

2.1 INTRODUCCIÓN

El Estudio de tránsito tiene por objetivo, determinar los volúmenes de tráfico y su composición; desde el año de inicio de operación de la vía hasta el año horizonte del proyecto y la determinación de la capacidad y los niveles de servicio del tramo a estudiar durante su vida útil, así como la cuantificación de los ejes equivalentes para el cálculo de los espesores de pavimentos.

El volumen de tráfico y su comportamiento son los que definen los alcances y las demandas de un proyecto vial, por lo que se debe dar importancia a la determinación del volumen de tránsito, los tipos de vehículos, el comportamiento de éstos y sus formas de operación, como así también a las características socioeconómicas de los usuarios, a las características particulares de los vehículos y a las formas de explotación de los mismos. Las estimaciones de las cantidades y características del tráfico se logran sobre la base de las características topográficas de los tramos de carretera, de la geometría de la vía, de las condiciones del flujo vehicular, y de la circulación vial y peatonal sobre la carretera en estudio.

En el presente capítulo se muestra los datos de tránsito para el diseño de pavimento semiflexible, información que nos permitirá determinar el espesor de la estructura de pavimento que se requiere para soportar las cargas (Ejes equivalentes) que transmitirá dicho tránsito, considerando el período de diseño propuesto.

2.2 METODOLOGÍA

Este estudio de tráfico contempla dos etapas las cuales se describen a continuación:

2.2.1 Recopilación de datos

En esta etapa se realizará el aforo manual vehicular, ubicado en un punto específico del tramo en estudio, durante un tiempo determinado. El aforo vehicular se realizó en un período de 7 días, durante una semana, doce horas diarias, durante el día, de 6:00 am a 6:00 pm, con cambio cada 5 minutos, lo que permitirá obtener el volumen de tránsito. La estación de conteo está ubicada en un punto específico de la vía, frente al centro turístico la Picardía.

Hoja de campo: La Hoja de campo utilizada está compuesta de una leyenda donde se anotan datos generales referentes al sitio donde se realizó el conteo: nombre de la estación, sentido, fecha y nombre del aforador. Así mismo, la hoja contiene un cuadro conformado de columnas correspondientes a los tipos de vehículos de la Clasificación de Tránsito Nacional, siendo estos los siguientes:

Motos: Vehículos automotores de dos ruedas.

Vehículos Livianos: Vehículos automotores de cuatro ruedas que incluyen: Automóviles, Camionetas (Pick-ups) y Jeeps.

Vehículos Pesados de Pasajeros: Vehículos destinados al Transporte Público de Pasajeros de cuatro, seis y más ruedas, que incluyen: Microbuses Pequeños (hasta 15 Pasajeros), Microbuses Medianos (mayores de 15 pasajeros), Buses grandes y Camiones utilizados para el transporte de pasajeros.

Vehículos Pesados de Carga: Vehículos destinados al transporte pesado de cargas mayores o iguales a tres toneladas y que tienen seis o más ruedas en dos, tres, cuatro, cinco y más ejes, estos vehículos incluyen: camiones pequeños de dos ejes (C2 Liviano), camiones de dos ejes mayores a cinco Toneladas (C2), camiones de tres ejes (C3), camiones de cuatro ejes (C4),

camiones combinados con remolque del tipo (C2R2) y (C2R3) y los vehículos articulados de cinco y seis ejes de los tipos (T3S2) y (T3S3).

Vehículos Pesados de Carga: vehículos pesados, tales como vehículos agrícolas y de construcción.

2.2.2 Procesamiento y Análisis de la Información

Procesamiento de la información: Consiste en el trabajo de gabinete, en ésta etapa se aplicarán los diferentes métodos para obtener resultados adecuados al estudio

Análisis de la información obtenida: En este proceso se usará los criterios ya establecidos por manuales y reglamentos vigentes en el país, para comprender de una mejor manera los resultados obtenidos.

Se elaboró un resumen del conteo vehicular diario detallando la composición del tráfico, como se muestra a continuación en tabla N° 2.1.

Tabla N°. 2.1. Resumen semanal y Tránsito Promedio Diurno (TPDi)

Días	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga		Total
		Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	C2 Liv.	C2	
					<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.	
Lunes	103	43	14	54	7	6	3	16	19	265
Martes	154	34	24	67	6	3	1	17	18	324
Miércoles	93	31	18	65	7	8	3	15	24	264
Jueves	180	42	12	76	7	3	5	21	18	364
Viernes	213	44	14	58	6	4	4	25	17	385
Sábado	208	40	20	36	1	7	5	30	21	368
Domingo	67	39	31	64	0	4	7	28	17	257
TOTAL	1018	273	133	420	34	35	28	152	134	2227
TPDi	145	39	19	60	5	5	4	22	19	318

Fuente: Elaboración propia

Para obtener el tránsito promedio diario anual del tramo Estelí-Comunidad el Limón se tomó como referencia los datos obtenidos por el MTI; mediante aforos que dicha institución realiza en estaciones de aforo, ubicadas en toda la red vial del país. El MTI publica de forma regular anualmente los resultados de los conteos de tránsito, que incluyen los factores de expansión.

Debido a que los conteos se realizaron durante horas diurnas, de 06:00 am a 6:00 pm, es necesario ajustar los resultados obtenidos a tráfico día y a tráfico noche.

Se revisó el anuario de aforos de tráfico año 2011, encontrándose que existe una estación sumaria de conteos de tránsito N°3505, que es la estación con un comportamiento vehicular similar al punto de conteo que se eligió en el tramo Estelí-Comunidad el Limón y que está más próxima a dicho punto de conteo.

En la estación sumaria N°3505 se tienen conteos de tránsito en años no consecutivos, siendo el último realizado en el año 2011, la revista de conteos de ese año presenta además los factores de expansión asociados a ella y por lo tanto serán lo que se utilizarán para expandir los datos obtenidos en el conteo vehicular. Ver tabla N° 2.2.

Tabla N° 2.2. Factores de ajustes para el tramo: Estelí – La Estanzuela

Camino:	NIC-35A	Estación:	3505	Tramo:	Esteli (Inter Nic-1) - La Estanzuela.			Periodo	L	Días:	3	Horas:	Mes/Año			Septiembre	2011	Km:	150.305	
Grupos	Vehiculos de Pasajeros								Vehiculos de Carga								Equipo Pesado			Total
	Autos		Jeep	Cam.	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 L.	C2 5+ t.	C3	Tx-Sx <=4 e.	Tx-Sx >=5 e.	Cx-Rx <=4 e.	Cx-Rx >=5 e.	V.A.	V.C.	Otros			
	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	18	19	21			
TP(D)	77	7	8	38	0		3	6	3									141		
Factor Dia	1.23	1.59	1.25	1.22	1.29	1.11	1.19	1.23	1.19	1.10	1.20	1.28	1.00	1.00	1.00	1.00	1.05			
Factor Semana	0.94	1.06	1.08	1.00	0.95	0.97	1.00	0.92	0.86	0.88	0.86	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.17			
Factor Expansión	0.86	1.02	1.06	1.07	1.15	1.20	1.04	0.98	1.06	0.81	1.00	1.08	1.00	1.00	1.00	1.00	2.01			
TPDA Sep-Dic	77	12	11	49			4	6	3									162		
% TPDA	47.53	7.41	6.79	30.25			2.47	3.70	1.85									100.00		
% Vehiculos Livianos				91.98%				% Vehiculos Pesados				8.02%							100.00%	

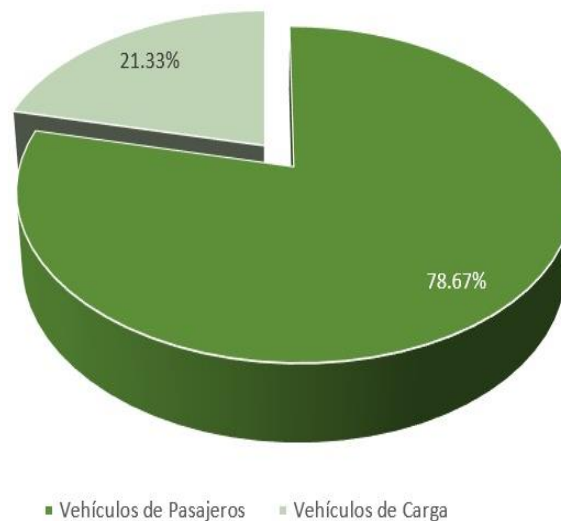
Fuente: Revista de Conteo de Tráfico del año 2011. Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Tabla N° 2.3. Resultado del Tránsito Promedio Diario Anual, aplicando los factores de ajustes del MTI

Grupo	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga		Total
	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	C2 Liv.	C2	
				<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.	
TPDi	39	19	60	5	5	4	22	19	173
Factor día	1.59	1.25	1.22	1.29	1.11	1.19	1.23	1.19	
Factor Expansion	1.02	1.06	1.07	1.15	1.2	1.04	0.98	1.06	
TPDA (vpd)	63	25	78	7	7	5	26	24	236
Composicion Vehicular	78.67%						21.33%		100.00%

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 2.1. Composición Vehicular



Fuente: Elaboración Propia

2.3 TASAS DE CRECIMIENTO

El método más conocido en nuestro medio es la estimación del tránsito por medio o en base a la tasa de crecimiento anual de los indicadores económicos nacionales o de cómo el tránsito se ha comportado históricamente en una región del país. Los indicadores comúnmente usados son: PIB (Producto Interno Bruto), tasa de crecimiento poblacional y el historial del tránsito en la zona según datos del MTI.

2.3.1 Producto Interno Bruto (PIB)

Esta variable es el valor de todos los bienes y servicios finales producidos dentro de una nación en un período. El PIB en congruencia al poder adquisitivo (PPA) de una nación es la suma de valor de todos los bienes y servicios producidos en un país. Se utiliza como un indicador de la riqueza generada por una nación, durante un año, un trimestre u otra medida de tiempo.

Partiendo de la información disponible en el Banco Central se ha elaborado la siguiente tabla donde se aprecia el comportamiento histórico del PIB, desde el año 2000 al año 2011.

Según los anuarios históricos del Banco Central de Nicaragua (BCN) desde el año 2000 hasta el 2011 el crecimiento promedio del PIB, fue en el orden de los 9.21%, según el comportamiento de los datos analizados. Los datos del producto interno bruto se presentan en la tabla siguiente:

Tabla N° 2.4. Evolución histórica del PIB

AÑO	PIB (en millones US\$)	% TC PIB
2000	3938.1	
2001	4102.2	4.2%
2002	4026.0	-1.9%
2003	4101.5	1.9%
2004	4464.7	8.9%
2005	4862.0	8.9%
2006	6786.3	39.6%
2007	7458.1	9.9%
2008	8491.4	13.9%
2009	8380.7	-1.3%
2010	8938.2	6.7%
2011	9898.6	10.7%
PIB Promedio		6287.31667
Tasa de crecimiento Promedio		9.21%

**Fuente: Principales indicadores
Macroeconómicos.
Banco Central de Nicaragua**

2.3.2 Tasas de crecimiento vehicular

Dependiendo de muchos factores, como el desarrollo económico-social, la capacidad de una vía, etc., es normal que el tráfico vehicular vaya aumentando con el paso del tiempo, hasta que llega a un punto tal de saturación, en el que se mantiene prácticamente sin crecer.

La tasa de crecimiento vehicular varía dependiendo del tipo de vehículo, la determinación de las mismas se realiza a partir de series históricas de tráfico, en base a estudios anteriores del tramo en estudio u otras vías de naturaleza similar.

Tabla N° 2.5. Tasa Anual de Crecimiento (TAC) en Estación No. 3505

AÑO	TPDA	TAC
2000	47	
2001	55	17.02%
2002	62	12.73%
2003	70	12.90%
2004	78	11.43%
2005	86	10.26%
2006	93	8.14%
2007	100	7.53%
2008	108	8.00%
2009	115	6.48%
2010	139	20.87%
2011	162	16.55%
TPDA Promedio		92.91666667
Tasa de crecimiento Promedio		11.99%

**Fuente: Anuario estadístico MTI
2013. Estación 3505**

2.3.3 Crecimiento Poblacional

Luego de analizar anteriormente las tasas de crecimiento anual de la estación de la zona del camino en estudio, se analizó también la tasa de crecimiento poblacional elaborada con base a los resultados del Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE), utilizando los datos anteriores como base se obtiene una tasa de crecimiento de 1.49%.

Tabla N° 2.6. Crecimiento poblacional

AÑO	Población (miles de hab.)	TAC
2000	5098.03	
2001	5173.93	1.49%
2002	5244.69	1.37%
2003	5312.75	1.30%
2004	5380.51	1.28%
2005	5450.39	1.30%
2006	5638	3.44%
2007	5707.9	1.24%
2008	5778.8	1.24%
2009	5850.5	1.24%
2010	5923.1	1.24%
2011	5996.6	1.24%
Población Promedio		5103.86
Tasa de crecimiento Promedio		1.49%

**Fuente: Instituto Nacional de
Información de Desarrollo (INIDE)**

2.3.4 Análisis de la tasa de crecimiento utilizada

Se realizaron correlaciones entre el TPDA-PIB y TPDA-POBLACIÓN, para determinar una tasa de crecimiento adecuada (Ver Anexo A, Pag. II, Fig. 1 y 2). Las correlaciones dan como resultado un valor de elasticidad de la ecuación de correlación, la elasticidad se multiplicara por la tasa de crecimiento calculada. Ver tabla N° 2.7.

Tabla N° 2.7. Crecimiento poblacional

	Población (miles)	PIB (millones C\$)
Tasa de Crecimiento	1.49%	9.21%
Elasticidad de ecuación	2.8694	0.6049
Tasas de Crecimiento afectadas por correlacion	4.28%	5.57%

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo como perspectiva que nuestro país está en vías de desarrollo, tomando en cuenta el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), el crecimiento vehicular del tramo en estudio, el crecimiento de la población del municipio y las condiciones actuales que está viviendo el país y el resto del mundo, que en común se ve afectado por la crisis económica (variaciones del precio del petróleo, crisis financiera, etc.) se utilizará una Tasa Anual de Crecimiento (TAC) del 4.9%, la cual se considera como tasa de crecimiento estable y conservadora dentro de la economía del país, sin embargo ésta tasa tiende a sufrir un incremento o decremento debido a las posibles variaciones económicas que pueda presentar la economía mundial.

2.4 PROYECCIÓN DEL TRÁFICO

Para realizar la proyección del tránsito vehicular es necesario contar con cierta información tales como:

2.4.1 Período de Diseño. (n)

Es el número de años para el cual se diseña específicamente el pavimento; generalmente varía entre los 10 y 40 años. De acuerdo a las características geométricas de la vía y al volumen actual de tránsito que circula por ella, la carretera en estudio la podemos clasificar de acuerdo a su función vial como colectora rural por lo tanto elegimos un valor máximo de 15 años para el período de diseño.

Tabla N° 2.8. Período de Diseño

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño
Autopista Regional	20 - 40 años
Troncales Suburbanas	15 - 30 años
Troncales Rurales	
Colectoras Suburbanas	10 - 20 años
Colectoras Rurales	

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales. SIECA

Para la proyección del tránsito promedio diario anual que circulará en el año horizonte se realizó bajo la aplicación del modelo matemático siguiente:

$$T = T_o (1 + i)^n$$

Donde:

T: Tránsito en el año de puesta en marcha del proyecto.

T_o: Tránsito inicial en el último año conocido (2015).

n: Período de análisis en años (15 años).

i: Tasa anual de crecimiento (4.9 %).

El volumen del tránsito en el año horizonte se presenta en la siguiente tabla:

Tabla N° 2.9. Volumen de tránsito en el horizonte.

Tipos de Vehiculos	To (2015)	Td (2030)
Autos	63	129
Jeep	25	51
Cam	78	160
McBus <15s	7	14
MnBus 15-30 s	7	14
Bus 30+ s.	5	10
C2 Liv. 2-5 t.	26	53
C2 5+t	24	49

Fuente: Elaboración propia

2.4.2 Tránsito de diseño. (T_D).

Es el valor acumulado de la cantidad de vehículos que circularán en la vía durante la vida de diseño a la cual fue proyectada y se calcula usando la siguiente ecuación:

$$TD: T_o * FC * FD * FC'$$

Donde:

TD: Tránsito de Diseño.

To: Tránsito Base (2015).

FC: Factor de Crecimiento.

FD: Factor de Distribución.

FC': Factor Carril.

2.4.3 Factor de crecimiento (FC)

El factor de crecimiento indica la medida en como aumentará el tránsito conforme pase el tiempo y está determinado por el período de diseño y la tasa anual de crecimiento vehicular. Este factor se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$FC = \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right] * 365$$

Donde:

i: tasa de crecimiento (4.9%).

n: período de diseño (15 años).

Sustituyendo los valores en la ecuación tenemos:

$$FC = \left[\frac{(1+0.049)^{15} - 1}{0.049} \right] * 365 = 7817$$

2.4.4 Factores de Distribución del Tránsito. (FD)

Se expresa con la relación que existe entre el tráfico y el sentido de circulación, su valor es generalmente es 0.5 para el flujo vehicular en ambas direcciones y 1 si poseen un solo sentido. La característica más general es que el tránsito se divida 50% en un sentido y 50% en el otro.

Para la vía en estudio por ser una carretera rural con ambas direcciones de circulación se ha tomado el factor de 0.5, considerándolo como valor ideal para vías de dos carriles con sentido de circulación opuesto. Ver tabla N° 2.10.

Tabla N° 2.10. Factor de Distribución por dirección.

Numero de carriles en ambas direcciones	FD (%)
2	50
4	45
6 ó más	40

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales. SIECA

2.4.5 Factor de Distribución por carril. (FC')

Es el número de carriles por sentido para los cuales se está diseñando. El factor carril utilizado será del 100%.

Tabla N° 2.11. Factor de Distribución por Carril.

Numero de carriles en una sola dirección	FC' (%)
1	1.00
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuente: Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales. SIECA

2.5 ESTIMACIÓN DEL TRÁNSITO DE DISEÑO

El tránsito de diseño para un período de 15 años y con una tasa de crecimiento de 4.9%. Sin incluir las motos debido a que no presentan ningún daño en la carpeta de rodamiento del pavimento es de 917,759 vehículos como se muestra en la tabla N°. 2.12.

Tabla N° 2.12. Tránsito de Diseño.

Tipos de Vehiculos	To	FC	FD	FC´	TD
Autos	63	7817	0.5	1	246240
Jeep	25	7817	0.5	1	96958
Cam	78	7817	0.5	1	304869
McBus <15s	7	7817	0.5	1	27360
MnBus 15-30 s	7	7817	0.5	1	27360
Bus 30+ s.	5	7817	0.5	1	19543
C2 Liv. 2-5 t.	26	7817	0.5	1	101623
C2 5+t	24	7817	0.5	1	93806
TOTAL	235				917759

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE SUELOS

3.1 INTRODUCCIÓN

En la naturaleza existe gran variedad de suelos, se realizó este estudio con el objetivo de conocer las propiedades físico mecánicas del suelo del tramo de carretera en estudio así como también banco de materiales, tomando en cuenta métodos de clasificación para establecer los tipos de suelos.

Para este estudio nos auxiliamos con la información suministrada por la Alcaldía de Estelí, estos estudios son los que utiliza la alcaldía para sus propuestas de diseños de adoquinados en la ciudad y fueron realizados por el laboratorio de suelos de la empresa **CONSULTRANS, S. A.**

3.2 TRABAJO DE CAMPO

3.2.1 Sondeos sobre la vía.

Los trabajos de campo consistieron en la ejecución de 19 sondeos manuales, con un profundidad de 1.5 m., distribuidos a lo largo del tramo en estudio.

En los sondeos realizados se tomaron muestras alteradas, de los estratos de suelo encontrados, para ser ensayados posteriormente, con el fin de determinar los espesores a colocar en el tramo en estudio. (Ver tabla 3.1).

Tabla 3.1. Sondeos manuales

Sondeos del tramo Estelí-Comunidad El Limón			
Sondeo N°	Estación	Sondeo N°	Estación
S1	0+010	S11	0+860
S2	0+110	S12	0+940
S3	0+210	S13	1+020
S4	0+290	S14	1+115
S5	0+370	S15	1+200
S6	0+450	S16	1+280
S7	0+540	S17	1+360
S8	0+620	S18	1+440
S9	0+700	S19	1+520
S10	0+798		

Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS S.A

3.3 Ensayes de laboratorio

Una vez recolectadas y agrupadas las muestras, se aplicaron los ensayos de laboratorios para determinar las características de los suelos, aplicándose las normas ASTM y la AASHTO presentados a continuación.

Tabla 3.2. Ensayes de laboratorio

Ensayo	Especificación ASTM	Especificación AASHTO
Granulometría de los suelos	D421-58 y D422-63	T-87-70 y T88-70
Límites de Atterberg	D-4318	
Ensayo Proctor Estándar		T – 180 - 90
Ensayo CBR.		T – 193 – 81

Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS S.A

En base a los resultados obtenidos, las muestras se Clasificaron de acuerdo al Sistema H.R.B.

3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

La profundidad a que fueron obtenidas las muestras en las perforaciones sobre la línea de la calle fue de 1.50 m. por lo que la información que se obtuvo de los ensayos brindó amplios datos del comportamiento del suelo a lo largo de la ruta en estudio.

Los resultados obtenidos brindan información acerca de la composición de los materiales en todos los estratos estudiados y de la familia de éstos en cada uno de ellos.

3.3.1 Análisis Granulométrico

Una vez agrupadas las muestras, se realizó el análisis granulométrico para determinar su clasificación y calidad del material. (Ver tabla 3.3)

Tabla 3.3. Resultados de ensaye Granulométrico

ESTACION	PROFUNDIDAD EN CM	MUESTRA No	% QUE PASA POR TAMIZ											CLASIFIC H.R.B.
			2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	# 4	# 10	# 40	# 200	L.L.	I.P.	
Sondeo # 1														
0+010	0.0-15	1	74	64	52	44	28	19	17	13	9	45	16	A-2-7(o)
0+010	0.15-0.45	2			85	75	52	34	30	23	17	52	21	A-2-7(4)
0+010	0.45-1.30	3			93	90	70	52	48	38	27	47	15	A-2-7(1)
Sondeo # 2														
0+110	0.0-0.40	4	89	67	46	39	28	21	18	15	12	42	14	A-2-7(o)
0+110	0.40-1.10	5		79	65	48	36	25	21	17	14	36	11	A-2-4(o)
Sondeo # 3														
0+210	0.0-0.30	6	91	85	70	60	34	14	11	7	6	34	10	A-2-4(o)
0+210	0.30-0.80	7						100	98	93	59	40	11	A-6-(5)
0+210	0.80-1.50	8					95	89	83	48	21	34	10	A-2-4(o)
Sondeo # 4														
0+290	0.00-0.20	9	89	67	46	39	28	21	18	15	12	42	14	A-2-7(o)
0+290	0.20-0.45	10			95	88	61	43	39	30	21	45	16	A-2-7(o)
0+290	0.45-1.45	11						100	98	93	59	40	11	A-6-(5)
Sondeo # 5														
0+370	0.0-0.50	12	89	67	46	39	28	21	18	15	12	42	14	A-2-7(o)
0+370	0.50-1.50	13						100	98	93	59	40	11	A-6-(5)
Sondeo # 6														
0+450	0.0-0.15	14	89	67	46	39	28	21	18	15	12	42	14	A-2-7(o)
0+450	0.15-1.50	15					95	89	83	48	21	34	10	A-2-4(o)
Sondeo # 7														
0+540	0.0-1.35	16						100	98	93	59	40	11	A-6-(5)
Sondeo # 8														
0+620	0.0-0.35	17		84	69	57	32	20	16	13	11	42	14	A-2-7(o)
0+620	0.35-0.80	18		93	82	71	53	41	34	27	19	40	13	A-2-6(o)
0+620	0.80-1.45	19						100	98	93	59	40	11	A-6-(5)
Sondeo # 9														
0+700	0.0-0.40	20		87	75	64	42	26	22	19	16	52	21	A-2-7(o)
0+700	0.4	hay roca y arcilla es un cerro												
Sondeo # 10														
0+798	0.0-1.50	21						100	98	93	59	40	11	A-6-(5)
Sondeo # 11														
0+860	0.0-0.50	22	91	85	70	60	34	14	11	7	6	34	10	A-2-4(o)
0+860	0.50-1.50	23		86	72	61	42	30	25	20	14	42	14	A-2-7(o)
Sondeo # 12														
0+940	0.0-0.35	24	91	85	70	60	34	14	11	7	6	34	10	A-2-4(o)
0+940	0.35-1.30	25	94	84	78	72	56	44	35	27	22	43	15	A-2-7(1)
Sondeo # 13														
1+020	0.0-0.00	26	Manto Rocoso											
Sondeo # 14														
1+115	0.0-0.35	27	94	84	78	72	56	44	35	27	22	43	15	A-2-7(1)
1+115	0.35-1.30	28						100	98	93	59	40	11	A-6-(5)
Sondeo # 15														
1+200	0.0-0.10	29	91	85	70	60	34	14	11	7	6	34	10	A-2-4(o)
1+200	0.10-0.30	30		93	82	71	53	41	34	27	19	40	13	A-2-6(o)
1+200	0.30-1.39	31						100	98	93	59	40	11	A-6-(5)
Sondeo # 16														
1+280	0.0-0.20	32	91	85	70	60	34	14	11	7	6	34	10	A-2-4(o)
1+280	0.0-0.60	33		93	82	71	53	41	34	27	19	40	13	A-2-6(o)
1+280	0.60-1.40	34						100	98	93	59	40	11	A-6-(5)
Sondeo # 17														
1+360	0.0-0.20	35	91	85	70	90	34	14	11	7	6	34	10	A-2-4 (o)
1+360	0.20-0.60	36		93	82	71	53	41	34	27	19	40	13	A-2-6(o)
1+360	0.60-1.35	37						100	98	93	59	40	11	A-6-(5)
Sondeo # 18														
1+440	0.0-0.18	38	91	85	70	60	34	14	11	7	6	34	10	A-2-4(o)
1+440	0.18-0.80	39		93	82	71	53	41	34	27	19	40	13	A-2-6(o)
1+440	0.80-1.38	40						100	98	93	59	40	11	A-6-(5)
Sondeo # 19														
1+520	0.0-0.25	41	97	85	67	57	40	28	21	15	11	29	10	A-2-4 (o)
1+520	0.25-1.00	42		93	82	71	53	41	34	27	19	40	13	A-2-6(o)
1+520	1.00-1.50	43						100	98	93	59	40	11	A-6-(5)

Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS S.A

3.3.2 Limites de Atterberg.

Para la correcta caracterización del suelo, además del análisis granulométrico, se debe realizar el ensayo de Atterberg para estudiar las características de los granos de menor tamaño no considerados en el análisis mecánico de los suelos.

3.4. Resultados de Ensayo de Limites de Atterberg

Muestra	Limite Liquido	Limite Plastico	Indice de Plasticidad
M1	42	28	14
M2	34	24	10
M3	40	29	11
M4	40	27	13

Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS S.A

3.3.3 Clasificación de los suelos.

A partir de los resultados, se logró conocer que existen dos tipos de material bien definidos en la capa superficial los cuales son A – 2 – 7 y A – 2 – 4. De la misma forma se encontraron materiales del tipo A – 6 y A – 2 – 6, como se muestra la tabla estratigráfica. Ver Anexo B. Pag. III. Tabla N° 2.

A – 2 – 7: Estos materiales predominan entre las estaciones 0 + 000 y 1 + 520, tiene gran presencia en la capa superficial, al igual que en los estratos medios y los más profundos.

A – 2 – 4: Los materiales encontrados en los sondeos y que corresponden a la clasificación señalada, presentan un mejor comportamiento en cuanto a sus características físicas y mecánicas. Tiene mayor predominio en la capa superficial desde la estación 0 + 860 hasta la 1 + 520.

A – 2 – 6: El ensayo de Límites de Atterberg determinó que estos materiales cuentan, como promedio, con Índices de Plasticidad de 13 y Límite Líquido de 40. El porcentaje que pasa por la malla 200 es de 19. Estos materiales se presentan entre las estaciones 1 + 200 y 1 + 520.

A– 6: Estos materiales de tipo arcillosos se encuentran generalmente por debajo de la capa superficial y predomina desde las capas intermedias hasta los 1.50 metros de profundidad.

Tabla 3.5. Calidad de los tipos de Suelos

Muestra	Clasificación AASHTO	Descripción
M1	A-2-7	Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas
M2	A-2-4	Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas
M3	A-6	Suelos Arcillosos
M4	A-2-6	Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas

Fuente: Ver Anexo B. Pag. II. Figura N°1

3.3.4 Proctor Estándar

La relación entre humedad y densidad para un suelo compactado juega un papel muy importante en las propiedades del mismo. El ensayo Proctor Estándar permite determinar la humedad óptima, es decir la humedad a la que el suelo alcanza su densidad máxima y por lo tanto presenta sus mejores propiedades mecánicas.

El valor de esta humedad óptima depende de la energía de compactación brindada al suelo, y en caso de incrementarse ésta, la humedad óptima será menor y la densidad seca máxima mayor. A continuación se presentan los resultados de este ensayo.

Tabla 3.6. Ensayo Proctor Estándar

Muestra	Clasificación	Densidad Maxima (kg/m3)	Humedad Optima %
M1	A-2-7	2,057	10.2
M2	A-2-4	2,082	9.7
M3	A-6	1,757	18.6
M4	A-2-6	2,119	9.2

Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS S.A

3.3.4 Ensayo CBR

Los valores de CBR fueron determinados en los ensayos de laboratorio practicados a los materiales de los sondeos de línea, bajo condiciones de humedad y densidad controlada, los cuales originaron los siguientes resultados:

Tablas 3.7. Ensayo CBR

Muestra	Clasificación	%Compactación Reducida	%Valor CBR
M1	A - 2 - 7	90	18
		95	31
		100	39
M2	A - 2 - 4	90	35
		95	67
		100	98
M3	A - 6	90	4
		95	5
		100	7
M4	A - 2 - 6	90	14
		95	35
		100	52

Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS S.A

3.4 FUENTES DE MATERIALES

3.41 Calidad de las fuentes de materiales

Con relación a la investigación en fuentes de materiales, se logró muestrear el banco de materiales que se ubica a 12 km del tramo en estudio, cuyos resultados presentamos en la siguiente tabla:

Tablas 3.8. Resultados de Banco de Materiales

Banco de Materiales	Densidad Maxima	Humedad optima %	CBR %	Porcentaje que pasa por el tamiz								L.L.	I.P.	CLASIFICACIÓN AASHTO
				1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	#4	#10	#40	#200			
Santa Cruz	2,054	9.5	80	91	79	72	58	47	41	32	25	40	9	A - 2 - 4 (0)

Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS S.A

3.3 Consideraciones del Laboratorio

Del análisis e interpretación de los resultados de los ensayos de laboratorio practicado a cada una de las muestras de materiales tomadas en los sondeos y en las fuentes de materiales investigadas, se puede inferir lo siguiente:

- Sondeos de Línea

Los suelos encontrados de acuerdo con los resultados obtenidos, son suelos que varían de regular a mala calidad dependiendo del estacionamiento en que se ubiquen éstos. De esta manera, los materiales que se encuentran en la línea de estudio son suelos arcillosos altamente plásticos y extremadamente compresibles. Su uso no es recomendable para ninguno de los espesores de pavimento de acuerdo a las especificaciones que expone la NIC-200. A continuación se muestran las especificaciones y los resultados obtenidos por los ensayos de laboratorio:

Tablas 3.9. Especificaciones NIC-2000 de los materiales para Sub-Base

Especificaciones NIC-2000 para Sub-Base		Resultados de ensayos en la línea de estudio			
		A-2-7	A-2-4	A-6	A-2-6
Indice de Plasticidad	min.5 - 12 max.	14	10	11	13
Limite Liquido	max. 35%	42	34	40	40
CBR	min.40%	31	67	5	35

Fuente: NIC-2000, Sección 1003, Pag: 530 | Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS S.A

Tablas 3.10. Especificaciones NIC-2000 de los materiales para Base

Especificaciones NIC-2000 para Base		Resultados de ensayos en la línea de estudio			
		A-2-7	A-2-4	A-6	A-2-6
Indice de Plasticidad	10 max.	14	10	11	13
Limite Liquido		42	34	40	40
CBR	min.80%	31	67	5	35

Fuente: NIC-2000, Sección 1003, Pag: 531 | Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS S.A

- Fuente de Materiales

Los estudios geotécnicos que se realizaron en la investigación de fuente de materiales determinaron que los materiales existentes en ellas son aptos para su uso en las capas de pavimentos con la salvedad de que han de trabajarse con la humedad óptima para alcanzar la densidad requerida ya que las propiedades físico – mecánicas de los mismos son susceptibles a los cambios fuertes de humedad cuando no existe la compacidad requerida entre las partículas del material. Las especificaciones NIC-2000 establecen las especificaciones técnicas para base y sub-base, que este banco de materiales cumple, como se muestra en las siguientes tablas:

Tablas 3.11. Especificaciones NIC-2000 de los materiales para Sub-Base

Espicificaciones NIC-2000 para Sub-Base		Resultados de ensayos en fuente de materiales
Indice de Plasticidad	min.5 - 12 max.	9
Limite Liquido	max. 35%	
CBR	min.40%	80

Fuente: NIC-2000, Sección 1003, Pag: 530

| Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS S.A

Tablas 3.12. Especificaciones NIC-2000 de los materiales para Base

Espicificaciones NIC-2000 para Base		Resultados de ensayos en fuente de materiales
Indice de Plasticidad	10 max.	9
Limite Liquido		
CBR	min.80%	80

Fuente: NIC-2000, Sección 1003, Pag: 531

| Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS S.A

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE PAVIMENTO

4.1 INTRODUCCIÓN

El diseño de pavimentos consiste en determinar cada uno de los espesores de las capas que conforman la superficie de rodadura. Este diseño está basado en los estudios del tránsito y las propiedades físicas y mecánicas del suelo así como otras variables descritas en este capítulo.

De acuerdo al Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento de la SIECA señala cinco métodos para el diseño de pavimento con carpeta de rodamiento de adoquín los cuales son los siguientes: Método Directo, Método de Murillo López de Souza, Método Argentino, el británico y el Método AASHTO 93. El método AASHTO es el más usado y cuenta con dos técnicas de diseño para estructuras de pavimento: rígido y flexible.

Suponer que el pavimento de adoquín trabaja como pavimento flexible y que está basado en la forma cómo este asimila las cargas y las transmite a los demás miembros de la estructura de pavimento, trabajando de forma articulada y a la vez como una pequeña losa.

En Nicaragua se utilizan cuatro tipos de carpeta de rodamiento en la construcción de carreteras: macadam, asfáltica, de concreto y adoquín.

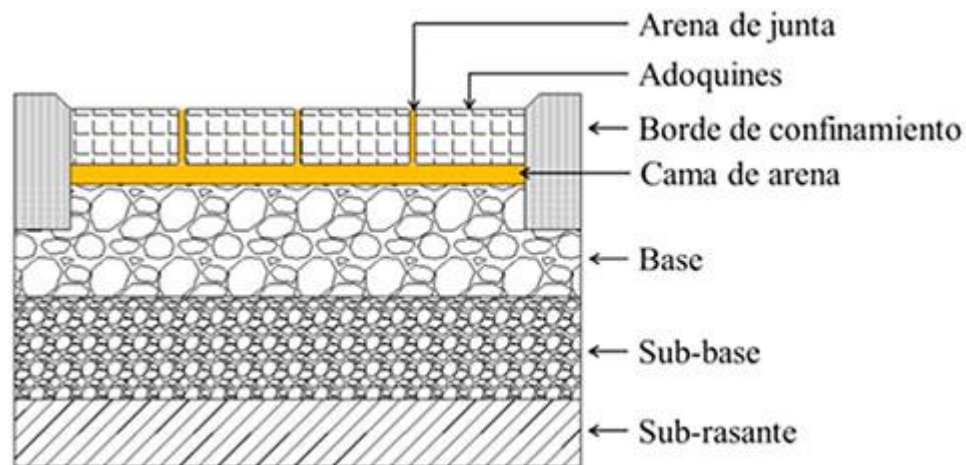
El cálculo de espesores del pavimento semi-flexible o articulado se realizó de acuerdo al Método desarrollado por la American Association of State Highway and Transportation Officials correspondiente a la versión de 1993 (AASHTO, 1993).

4.2 MÉTODO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO ARTICULADO AASHTO-93.

La guía AASHTO ofrece una metodología completa y detallada para el diseño de pavimentos: Flexibles y Rígidos. En el caso de pavimentos articulados, los cuales se refieren a pavimento con rodadura de adoquín; la AASHTO 93 recomienda usar en principio los mismos criterios de diseño utilizados para el diseño de pavimento flexible.

Esto tiene que ver directamente con la sección típica de pavimentos de adoquín, puesto que es diferente de la sección de pavimentos de concreto asfáltico ha como se muestra en la Figura N° 4.1.

Figura N° 4.1. Sección típica de pavimentos de adoquín



La diferencia se observa a través de la carpeta de rodamiento, la cual es de adoquín y el uso de una nueva capa que sirve de lecho donde descansan los adoquines.

La cama de arena tiene un espesor generalmente de 5 cm. Y es importante aclarar que dicha capa no aporta ningún soporte estructural a la infraestructura.

Otro aspecto importante son los coeficientes de capa (a_1 y a_2). En el caso de a_1 es el coeficiente de capa de la carpeta de rodamiento de adoquín, para ello el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos en su Capítulo 7, página 107, recomienda usar un coeficiente de 0.45 partiendo que el módulo elástico del adoquín es de 450,000 PSI y haciendo uso de la gráfica para el concreto asfáltico resulta este valor. Para el resto de capa los coeficientes se obtienen haciendo uso de los gráficos que aparecen en la AASHTO.

El método requiere información basada en las características y propiedades de los materiales que conforman los suelos de cada capa de la estructura, así como la composición vehicular que someterá la estructura de pavimento a las cargas variables de tránsito.

Los criterios que considera el método para el cálculo de espesores de capa son:

- ✓ Determinar el número de Ejes Equivalentes (ESAL'S).
- ✓ Obtener las Variables de diseño: Factores Equivalente de Carga, Peso por ejes, Confiabilidad deseada, Desviación Estándar, Serviciabilidad, Módulo de Resiliencia.
- ✓ Establecer las Propiedades de los materiales de cada capa, representada por los coeficientes estructurales (a_i).
- ✓ Calcular los espesores del pavimento considerando el esfuerzo a la compresión de cada capa.

4.3 CONSIDERACIONES DEL DISEÑO AASHTO-93

En el Diseño de la Estructura de Pavimento Flexible se deben de tener en cuenta las siguientes variables:

4.3.1 Confiabilidad

Se entiende por confiabilidad de un proceso de diseño y comportamiento de un pavimento, a la probabilidad de que una sección diseñada usando dicho proceso, se comportará satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito durante el período de diseño.

La confiabilidad pretende incorporar un grado de certidumbre al procedimiento de diseño, para asegurar que las diferentes alternativas de éste se mantengan durante el período de diseño. Con este parámetro se consideran posibles variaciones tanto en las predicciones del tránsito en ejes acumulados como en la predicción del comportamiento y por lo tanto proporciona un nivel predeterminado de confianza en que los tramos del pavimento sobrevivirán al período para el cual fueron diseñados. Ver tabla N°4.1.

Tabla N° 4.1. Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes carreteras.

Clasificación	Niveles de confiabilidad recomendados	
	Urbana	Rural
Autopistas interestatales y otras	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Carreteras Locales	50-80	50-80

Fuente: Guía para Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO – 1993

Para el diseño, según la **Tabla N° 4.1** se toma un nivel de confiabilidad de 85% para una carretera clasificada como colectora.

4.3.2 Desviación Estándar (S_o).

La desviación estándar del sistema toma en cuenta las variaciones en las ecuaciones, las mediciones y los materiales. Se selecciona un nivel de confiabilidad para determinar con que confianza se espera que el pavimento dure el período de tiempo para el que fue diseñado.

Los valores varían dependiendo del tipo de pavimento que se construya y el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos en su Capítulo 7, página 5, recomienda utilizar los valores comprendidos dentro de los intervalos siguientes:

- | | |
|-----------------------------|-------------|
| ✓ Para pavimentos flexibles | 0.40 - 0.50 |
| ✓ En construcción nueva | 0.35 - 0.40 |
| ✓ En sobre-capas | 0.50 |

Para el diseño, se tomó una desviación estándar, **$S_o = 0.45$**

4.3.3 Serviciabilidad

La serviciabilidad de un pavimento se define como la manera en que un pavimento cumple su función de ser cómoda, fácil, rápida y segura para la circulación de los vehículos y la capacidad que tiene de atender el tránsito. El índice de serviciabilidad varía de 5 (Excelente) a 0 (Pésimo).

La serviciabilidad de un pavimento se ve afectada conforme el uso que tiene a lo largo de su vida útil, por tanto para el diseño se necesitará definir la serviciabilidad inicial (P_0) y la serviciabilidad final (P_t), para poder determinar la pérdida total en el Índice de serviciabilidad (ΔPSI).

La pérdida de serviciabilidad (ΔPSI) es la diferencia que existe entre la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final. Entre mayor sea el ΔPSI mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar.

Antes de diseñar el pavimento se deben elegir los índices de servicio inicial y final.

Índice de serviciabilidad inicial:

Po= 4.5 para pavimentos rígidos

Po= 4.2 para pavimentos flexibles

Índice de serviciabilidad final:

Pt= 2.5 o más para caminos muy importantes

Pt= 2.0 para caminos de tránsito menor

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

Dónde:

ΔPSI : Índice de Serviciabilidad

Po: Índice de serviciabilidad inicial

Pt: Índice de serviciabilidad final

Para el diseño de pavimentos debe asumirse la serviciabilidad inicial y la final; la inicial (P_o) en función directa del diseño de la estructura de pavimento y de la calidad con que se construye la carretera; la final o terminal (P_t) va en función de la categoría del camino, se adopta en base a esto y al criterio del diseñador.

Para este caso se ha tomado un valor $P_o = 4.2$ y $P_t = 2$, correspondiente para una carretera de pavimento flexible y tránsito menor.

Por lo tanto el valor de la pérdida de la serviciabilidad para nuestro diseño es:

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0 = 2.20$$

4.3.4 Número Estructural Asumido (SN)

Es un indicador de la Capacidad Estructural requerida (materiales y espesores). El SN es un número abstracto, para calcular el ESAL o W18 (cantidad de repeticiones esperadas de un eje de carga equivalente de 18 mil libras), se debe de asumir un valor inicial de SN el cual representa en forma numérica la resistencia estructural de un tipo de pavimento dada una capacidad soporte del suelo (MR), del tránsito total medido en términos W18, de la serviciabilidad final y de las condiciones climáticas o ambientales. Se expresa como:

Para este Diseño seleccionamos el valor **SN= 4**

4.4.5 Factor de Equivalencia (FESAL)

Se obtiene las tablas (Ver Anexo C, Pag. V. Tabla N° 1) para ejes Sencillos. Conociendo la serviciabilidad final ($P_t=2.0$), el número estructural asumido ($SN=4$) y los pesos (las cargas se encuentran en Kips) se obtienen los factores de equivalencia. Si los pesos de los ejes no se encuentran en estas tablas se deben de Interpolar dichos valores.

4.4.6 Análisis de cargas y ejes equivalente para el diseño de pavimento.

Para el análisis de carga se utiliza la clasificación de los ejes de carga de cada vehículo, debido a que producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento.

Los ejes equivalentes se obtienen conociendo el tránsito de diseño y los factores de equivalencia, mediante la siguiente expresión:

$$\text{ESAL o W18} = \text{TD} * \text{Factor ESAL}$$

Para realizar el cálculo del ESAL de diseño es necesario conocer con anticipación el peso de los vehículos que circularán por el camino durante el

período de diseño (Ver Anexo C, Pag. IV, Fig. N°1), y el factor de equivalencia de carga.

En base a los datos anteriormente definidos se procedió a la determinación de los Ejes equivalente (ESAL) para cada eje y tipo de vehículos.

Tabla N° 4.2 Ejes equivalentes (ESAL) para cada eje y tipo de vehículos.

Tipo de Vehiculo	Peso por Eje (Ton. Metricas)	Peso por Eje (Kip)	Factor ESALs	Tránsito de Diseño	ESALs de Diseño
Autos	1	2.2	0.00038	246,240.4	94
	1	2.2	0.00038		94
Jeep	1	2.2	0.00038	96,957.7	37
	1	2.2	0.00038		37
Camionetas	1	2.2	0.00038	304,869.1	116
	2	4.4	0.0036		1098
Mc bus < 15 a	2	4.4	0.0036	27,360.0	98
	4	8.8	0.0538		1472
Mn bus 15 - 30 s	4	8.8	0.0538	27,360.0	1472
	8	17.6	0.9224		25237
Bus 30+s	5	11	0.134	19,542.9	2619
	10	22	2.31		45144
Liv. 2 - 5 t.	4	8.8	0.0538	101,623.0	5467
	8	17.6	0.9224		93737
C2 5+t.	5	11	0.134	93,805.87	12570
	10	22	2.31		216692
			TOTAL DE ESALES		405,982

Fuente: Elaboración propia.

ESAL o W18 = 405,982 ejes equivalentes por carril de diseño

4.4 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

4.4.1 CBR de Diseño

El índice de California (CBR) es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas. Se usa en el diseño de pavimentos flexibles y se expresa en porcentaje como, la razón de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón dentro del suelo, a la carga unitaria requerida para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra tipo de piedra partida. El C.B.R. es un ensayo de carácter estático y puede realizarse tanto en el sitio como en el laboratorio.

Metodología para la selección del CBR de diseño:

1. Ordenar los valores de CBR obtenidos de menor a mayor.
2. Para cada valor numérico diferente de CBR, comenzando desde el menor, se calcula el número y el porcentaje de valores de CBR que son mayores o iguales que él.
3. Se dibujan los resultados en un gráfico CBR vs % de valores mayores o iguales y se unen con una curva.
4. El CBR de diseño es el correspondiente a un valor en las ordenadas de 60, 75 u 87.5%, según el tránsito de la vía objeto del estudio.

A continuación se muestran los resultados de CBR de la subrasante a 95% de compactación:

Tabla N° 4.3. CBR de la Subrasante

Muestra	Clasificación	%Compactación	CBR
M1	A - 2 - 7	95	31
M2	A - 2 - 4		67
M3	A - 6		5
M4	A - 2 - 6		35

Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS S.A

Se ordenaron los valores de resistencia de menor a mayor y se determinó el número y porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.

Tabla N° 4.4 Cálculo para determinar el CBR de diseño

Muestra	Clasificación	CBR	N° Muestras	N° de valores iguales o mayores	% de valores iguales o mayores
M3	A - 6	5	12	43	$(43/43)*100=100$
M1	A - 2 - 7	31	12	31	$(31/43)*100=72$
M4	A - 2 - 6	35	6	19	$(19/43)*100= 44$
M2	A - 2 - 4	67	13	13	$(13/43)*100= 30$

Fuente: Laboratorio de suelos CONSULTRANS S.A

Aplicando el criterio expuesto por el Instituto del Asfalto para la determinación del valor del CBR DE DISEÑO, el cual recomienda tomar un valor tal, que el 60%, el 75% o el 87.5%, de los valores individuales obtenidos sean iguales o mayores que él, de acuerdo al tránsito que se espera que circule por el pavimento, como se muestra en la siguiente tabla:

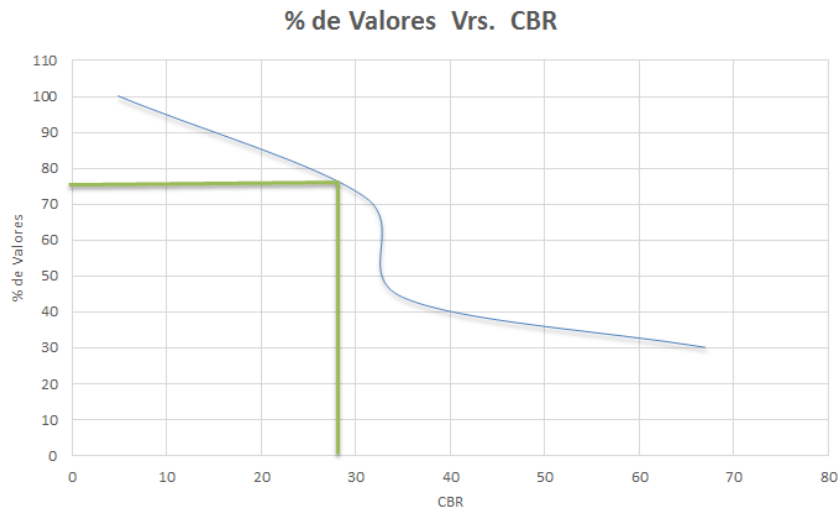
Tabla N° 4.5. Límites para la selección de CBR de diseño.

No. De ejes (8.2 ton) en el carril de diseño (N)	Percentil a seleccionar para CBR de Diseño
$< 10^4$	60
$10^4 - 10^6$	75
$> 10^6$	87.5

Fuente: Ingeniería de Pavimentos de Carreteras. Fonseca Montejó

El resultado del ESAL's fue de 405,982 ejes equivalentes por carril de diseño el valor del percentil que se utilizo fue de 75%.

Figura N° 4.2 CBR de Diseño para la Sub-rasante.



Fuente: Elaboración Propia.

Aplicando el método del Instituto del Asfalto que recomienda para un ESAL $10^4 - 10^6$ un valor de percentil de CBR correspondiente al 75% se obtuvo un CBR de diseño para la sub-rasante de 28%.

4.4.2 Módulo Resiliente de la sub-rasante

Es la variable que se usa para caracterizar las propiedades de los suelos, el Módulo Resiliente está en función de la sub rasante para cuantificar la capacidad de soporte de los pavimentos flexibles, la guía de diseño AASHTO establece la correlación para determinar el MR usando el CBR con la siguiente ecuación:

Tabla 4.6. Ecuaciones de correlación

Valores de C.B.R	Consideración
C.B.R. < 7.2 %	$Mr = 1500 \cdot CBR$
C.B.R. > 20 %	$Mr = 4326 \cdot \ln(CBR) + 241$

En nuestro diseño utilizaremos la formula $M_r = 4326 * \ln(\text{CBR}) + 241$ para calcular el Módulo de Resilencia de la Sub-rasante, con un valor de CBR 28%.

$$M_R = 4326 * \ln \text{CBR} + 241$$

$$M_R = 4326 * \ln(28) + 241$$

$$\mathbf{M_R = 14,656}$$

4.4.3 Drenaje (m_i)

El drenaje de agua en los pavimentos debe ser considerado como parte importante en el diseño de carreteras. El exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas, se anticipa con el tiempo para ocasionar daños a las estructuras del pavimento.

El coeficiente de drenaje depende de la capacidad que tiene el material para drenar el agua, el tiempo que pasa expuesta a la saturación. En la zona de Estelí se adaptado el uso de $m_i = 1$ para diseño de drenaje debido a que estudios en zona verifican que solo el 25% de las aguas se infiltran al suelo, siendo así también que este valor no afecta los cálculos para el diseño de pavimento. Además las bases estabilizadas por sus características físico-mecánicas no son afectadas por la influencia del agua, por lo cual se toma $m_i = 1$. Ver Tabla N° 4.7.

Tabla N° 4.7. Coeficiente de Drenaje para Pavimentos Flexible

Calidad de drenaje	Porcentaje de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1 – 5%	5 – 25%	>25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 1993

4.4.4 Coeficiente de capas estructurales

El método asigna para cada capa de pavimento un coeficiente a_n los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos flexibles. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales (SN), siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura de pavimento.

Coeficiente estructural de la carpeta de rodamiento (adoquín de concreto)

a_1 .

Este coeficiente fue asumido tomando en consideración el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos en su Capítulo 7, página 107, que considera un valor de **0.45** para este tipo de material.

Coeficiente estructural para material granular estabilizado con cemento a_2 .

Representa la capa base, a la que le permite convertir su espesor real a su número estructural (SN). Se determina el coeficiente a_2 en base a la aplicación

del nomograma para base granular, dando como resultado el valor de $a_2 = 0.133$.
Ver Anexo C, Pag. VI, Fig. N°2.

4.5 DETERMINACIÓN DE ESPESORES Y NÚMEROS ESTRUCTURALES APORTADOS.

4.5.1 Número estructural

El SN es un número abstracto que representa la resistencia estructural de un pavimento requerido, para una relación dada de soporte de suelo (M_r), el tránsito total (W_{18}), de la serviciabilidad final y de las condiciones ambientales. Ver Anexo C, Pag. VII, Figura N° 3. Obteniendo un valor de $SN = 2.3$

4.5.2 Determinación de los espesores de capas requeridos

El método de diseño utiliza la siguiente ecuación para obtener los espesores de las capas del pavimento; la superficie de rodamiento o carpeta y la base.

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2$$

Donde:

a_1 y a_2 : coeficientes de capa representativos de carpeta y base respectivamente.

D_1 y D_2 : Espesor de la carpeta y base respectivamente, en pulgadas.

SN: Número estructural requerido = 2.3

a_1 : Coeficiente de carpeta de Adoquín = 0.45

a_2 : Coeficiente de base de suelo- cemento = 0.133

D_1 : Espesor del Adoquín (10 cm) = 4 pulg.

D_2 : Espesor de la base

Sustituyendo en la Ecuación tenemos:

$$2.3 = (0.45 * 4) + 0.133 * D_2$$

$$D_2 = (2.3 - 1.8) / 0.133 = 3.76 \text{ pulgadas.}$$

Nota: Según la AASHTO-93 los espesores mínimos sugeridos para capas de concreto asfáltico y base granular en función del tránsito son los siguientes:

Tabla 4.8. Espesores mínimos para base granular

Número de ESALs	Concreto Asfáltico	Base Granular
Menos de 50,000	2.5 cm	10 cm
50,000 – 15,000	5.0 cm	10 cm
150,000 – 500,000	6.5 cm	10 cm
500,000 – 2,000,000	7.5 cm	15 cm
2,000,000 – 7,000,000	9.0 cm	15 cm
Más de 7,000,000	10.0 cm	15 cm

Como el resultado en el diseño de la Base granular fue de 3.76 pulgadas de espesor; no cumple con las especificaciones de la AASHTO - 93 la cual nos dice que el mínimo de espesor requerido para la base es de 4 pulgadas. Por lo tanto aumentaremos el espesor de la base a 4 pulgadas.

El nuevo resultado de espesor en el diseño de la Base granular es de 4 pulgadas; el cual ahora si cumple con las especificaciones de la AASHTO - 93

- ✓ Capa de rodamiento (adoquín) = 4 " (10 centímetros)
- ✓ Base = 4 " (10 centímetros).

Para comparar y comprobar los resultados obtenidos en los cálculos anteriores, se determinarán los espesores de las diferentes capas de pavimento utilizando el programa "Pavement Design & Analysis Life _ Cicle Cost Analysis", creado por Thomas P. Harman, M.S.C.E, que está basado en la guía para el diseño de estructuras de pavimento de la AASHTO, ya que resulta una herramienta útil que agiliza y facilita los cálculos para el diseño. Los resultados obtenidos son iguales a los determinados con el procedimiento manual.

Los valores de los parámetros de entrada se muestran a continuación:

ESAL'S: 405,982 ejes equivalentes por carril de diseño

Confiabilidad: 85%

Desviación Estándar (So): 0.45

Módulo de Resilencia: 14,656

Índice de serviciabilidad inicial (Po): 4.2

Índice de serviciabilidad final (pt): 2.00

Coeficiente capa a_1 : 0.45

Coeficiente capa a_2 : 0.133

Coeficiente Drenaje (m_i): 1

Se introdujeron al programa los valores de Número de ejes equivalentes, confiabilidad, desviación estándar, módulo resiliente, serviciabilidad inicial y final; obteniéndose un Número estructural mínimo requerido de 2.18.

Luego de introducir al programa los valores de los coeficientes estructurales de capa y de drenaje, se tomó un espesor de carpeta de rodamiento de 4 pulgadas por ser este de adoquín y para la base estabilizada con cemento se obtuvo un espesor de 4 pulgadas. Puede verificarse que con los espesores propuestos, el diseño cumple con los requisitos estructurales. Ver Anexo C, Pag. VIII, Fig. N°4 y N°5.

SN calculado para proteger la estructura del Pavimento = 2.33

SN Requerido para proteger la estructura del Pavimento = 2.18

SN Calculado > SN Requerido ¡OK!...

4.5.3 Resumen de Espesores de Pavimento

La siguiente tabla resume los espesores de pavimento obtenidos con el diseño:

Tabla N° 4.9 Espesores de Pavimento con Adoquín

Capa	Espesor (pulgadas)
Adoquín (carpeta de rodamiento)	4"
Cama de arena para Adoquín	2"
Base Granular	4"

Fuente: Elaboración Propia

5.1 CONCLUSIONES

- Se realizó satisfactoriamente el “Diseño de 1.5 km de pavimento articulado, del tramo “Estelí – comunidad el Limón” en el municipio de Estelí”, haciendo uso de las especificaciones del Manual de Diseño de Pavimentos en base al Método AASHTO -93.
- A partir de Aforos vehiculares realizados por siete días consecutivos en períodos de 12 horas se obtuvo un TPDA de 236 vehículos por día, resultando así, una composición vehicular de 78.67% del tráfico corresponde a vehículos de pasajeros y el 21.33% corresponde a vehículos de carga.
- Según los resultados obtenidos de las muestras de suelos que se extrajeron de la línea y realizados por el laboratorio de suelos de la empresa CONSULTRANS, S.A, se determinó que, los materiales predominantes a lo largo del tramo pertenecen a dos grupos, donde los suelos clasificados como A-2-7, A-2-6 y A-2-4 corresponden al grupo A-2, así mismo se encontró pero en menor presencia el suelo del tipo A-6.
- Se determinó el número de ejes equivalentes (ESAL'S') a partir del tránsito de diseño estimado 917,759 vehículos y aplicando los factores respectivos a cada tipo de vehículo se obtuvo un total de 405,982 ejes equivalentes por carril de diseño.
- Aplicando el método de diseño de pavimento flexible AASHTO – 93 se obtuvieron los siguientes resultados:
 - Espesor de Carpeta de Adoquín: 4 pulgadas.
 - Cama de arena 2 pulgadas.
 - Espesor de Base Granular estabilizada con cemento: 4 pulgadas.

- El espesor de la base granular calculado manualmente y por medio de Software que equivale a 4 pulgadas es un espesor que constructivamente no es conveniente, por eso se recomienda aumentar 4 pulgadas más de espesor en la base granular para tener una construcción eficiente, quedando como resultado final un espesor de 8 pulgadas.

5.2. RECOMENDACIONES

- Una vez realizado este proyecto de diseño de pavimento semi-flexible, se beneficiará y ayudará al progreso social y económico a la comunidad El Limón de la ciudad de Estelí, por eso es necesario tener en cuenta las recomendaciones constructivas y de mantenimiento para que la vida útil del proyecto se extienda.
- Usar adoquín de TIPO TRÁFICO, “incluyendo las cuchillas”, este no deberá presentar fisuras en su superficie y su tamaño deberá ser uniforme para evitar irregularidades o juntas muy anchas al ser colocadas, según las especificaciones generales para caminos, calles y puentes NIC-200, Sección 502.
- Se debe efectuar aforos vehiculares periódicamente, para verificar que su comportamiento sea tal como se estimó en este estudio. En caso contrario, se deberán establecer medidas de control para el daño de la vía causado por el crecimiento vehicular y así garantizar en un futuro la vida útil de la estructura de pavimento.
- Durante la construcción de la obra, se recomienda que se respete la calidad de los materiales utilizados y los espesores de los mismos sean los obtenidos en el diseño para el tramo en estudio, garantizando así que la estructura cumpla su función de manera satisfactoria.
- Utilizar arena que servirá de colchón a los adoquines, arena lavada, dura, angular, uniforme y no deberá contener más del 3% (en peso) de limo, arcilla o de ambos, acorde a NIC-200, Sección 502.

5.3 BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO-93, A. A. (1993). Diseño de pavimentos AASHTO.
- Fonseca, A. M. (2001). Ingeniería de Pavimentos Para Carreteras. Colombia: Agora Editores Ltda.
- Johnson, R. C. (2004). Texto del Alumno Ingeniería de Tráfico. Universidad Mayor de San Simón.
- Mayor, R. C. (1994). Ingeniería de Tránsito. México: Alfaomega S.A.
- Monsalve, L., Giraldo, L., & Maya, J. (2012). Diseño de Pavimento Flexible y Rígido. Colombia.
- MTI, M. d. (2009). Anuario de aforos de Tráfico . Managua.
- MTI, M. d. (2011). Anuario de aforos de Tráfico. Managua.
- NIC-2000. (2000). Especificaciones Generales para la Construcción de caminos, calles y puentes. Managua.
- SIECA. (2002). Manual centroamericano para el diseño de pavimentos. Guatemala.
- SIECA. (2004). Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales.

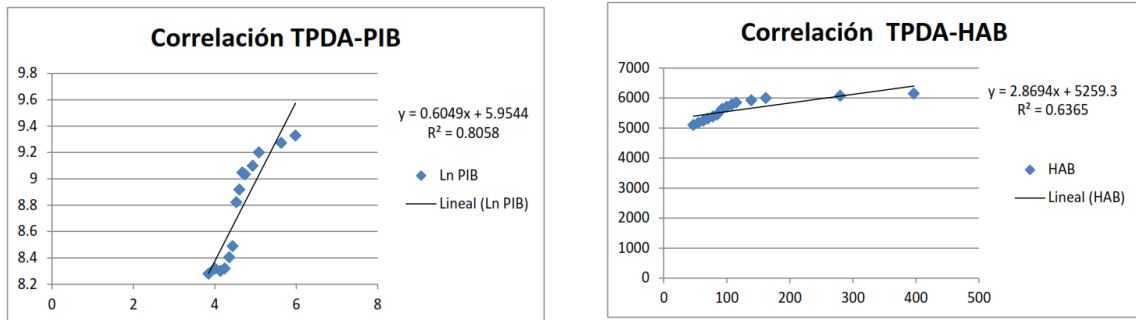
ANEXO A ESTUDIO DE TRÁFICO

Tabla N° 1. Tipología y Descripción Vehicular de Censos de Tráfico del Sistema de administración de Pavimentos PMS.

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimoto, Cuadriciclos, Minis, Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos coupe y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4*4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC
	CAMIONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con lina en la parte trasera, incluyendo los que transportan pasajeros y aquellos que por su diseño están diseñados a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MINIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHICULOS DE CARGA	LIVANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA T ₁ -S ₁ <=4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo T ₁ -S ₁ <=4
	T ₁ -S ₁ >=5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi - Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	C ₁ -R ₁ <=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como C ₁ -R ₁ <=4
	C ₁ -R ₁ >=5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRICOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos (Tractores - Arados - Cosechadoras)
	VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos, Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadora
OTROS	REMOLQUES Y/O TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Semovientes).

Fuente: Oficina de Diagnóstico y Evaluación de Pavimentos

Figura 1 y 2. Correlaciones TPDA-PIB Y TPDA-POBLACIÓN.



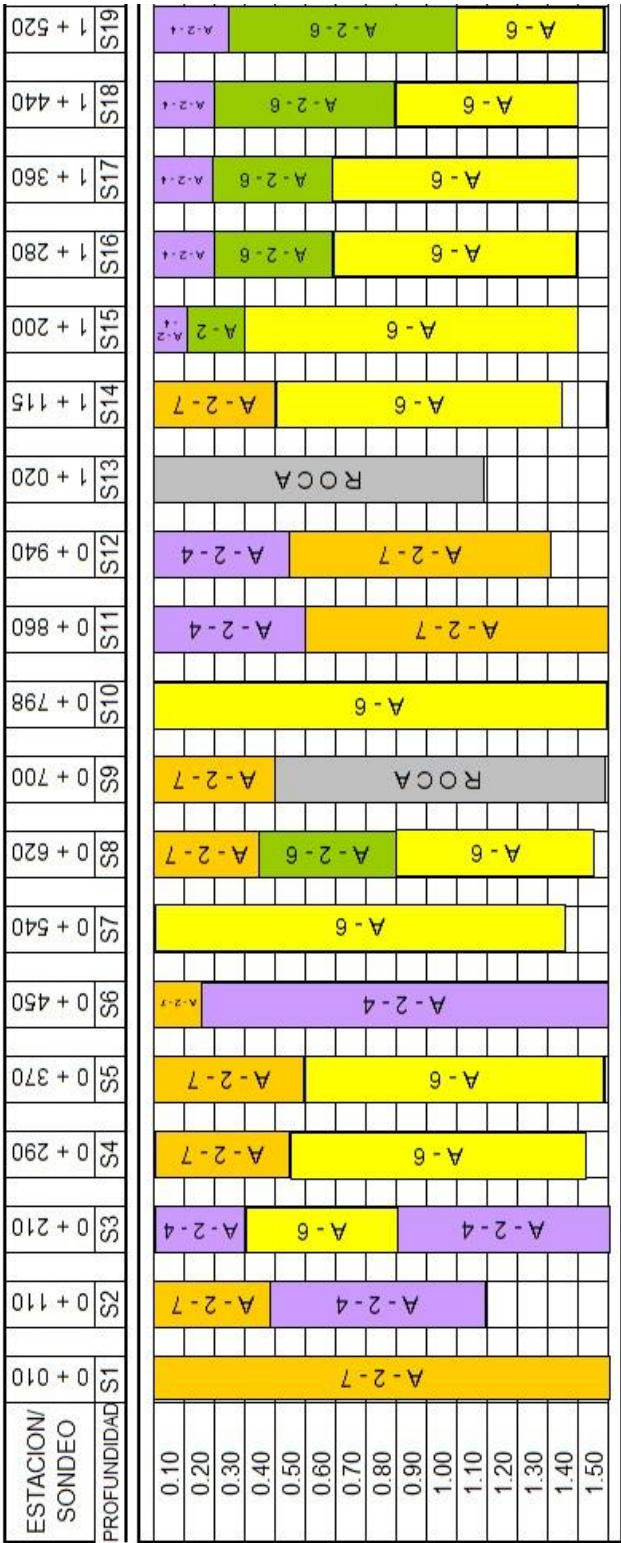
Fuente: Elaboración Propia

ANEXO B ESTUDIO DE SUELO

Figura N° 1. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Clasificación General	Materiales Granulares (35 ó menos pasan la malla No. 200)							Materiales Limo-Arcilla (Más del 35% pasan malla No. 200)			
Clasificación por Grupos y Sub-Grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Análisis de Mallas, (%) que pasan por la: No. 10.... No. 40.... No. 200....	50 Máx. 30 Máx. 15 Máx.	50 Máx. 25 Máx.	51 Mín. 10 Máx.	35 Máx.	35 Máx.	35 Máx.	35 Máx.	36 Mín.	36 Mín.	36 Mín.	36 Mín.
Característica de la fracción que pasan la malla No. 40											
Límite Líquido (%)				40 Máx.	41 Máx.	40 Máx.	41 Mín.	40 Máx.	41 Mín.	40 Máx.	41 Mín.
Índice de Plasticidad (%)	6 Máx.		N.P.	10 Máx.	10 Máx.	11 Mín.	11 Mín.	10 Máx.	10 Máx.	11 Mín.	11 Mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 Máx.		8 Máx.	12 Máx.	16 Máx.	20 Máx.
Tipos usuales de materiales constituyentes significativos	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena Fina	Grava y Arena Limosas y Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Clasificación General como Sub-rasante	Excelente a Bueno					Regular a Pobre					
PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACION: Con los datos requeridos y disponibles de prueba, procédase de Izquierda a Derecha en la carta y, por proceso de eliminación se encontrará el grupo correcto. El primer grupo de la Izquierda, en el cual coinciden los datos de las pruebas, será la Clasificación correcta.											
El I.P. del sub-grupo A-7-5 es igual o menor que el LL. menos 30.											
El I.P. del sub-grupo A-7-6 es mayor que el LL. menos 30.											
$IG = (F - 35) [0.2 + 0.005(LL-40)] + 0.01(F - 15) (IP - 10)$											



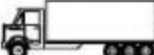









Tabla N° 2. Estratigrafía.



Fuente: Laboratorio de Suelos CONSULTRANS S.A

ANEXO C ESTUDIO DE PAVIMENTO

Figura N°1. Diagrama de Cargas Permisibles

DIAGRAMA DE CARGAS PERMISIBLES PESOS MAXIMOS PERMISIBLES POR TIPO DE VEHICULOS								
TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						Peso Máximo Total (t) Ton - Met.
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	
C2 I1		4.50	9.00					13.50
C3 I2		5.00	16.00					21.00
			8.00	8.00				
C4 Tx-Sx<4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1 Tx-Sx<4		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2 Tx-Sx<4		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3 Tx-Sx>5		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1 Tx-Sx<4		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2 Cx-Rx<4		5.00	16.00		16.00			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3 Cx-Rx>5		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2 Cx-Rx<4		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			21.50
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			26.50
C3-R2 Cx-Rx>5		5.00	16.00		4.0 a	4.0 a		29.00
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		34.00
C3-R3 Cx-Rx>5		5.00	16.00		4.0 a	5.0 a	5.0 a	35.00
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	37.50

NOTA: El peso máximo permisible será el menor entre el especificado por el fabricante y el contenido en esta columna.

a : Eje sencillo llanta sencilla.

b : Eje sencillo llanta doble.

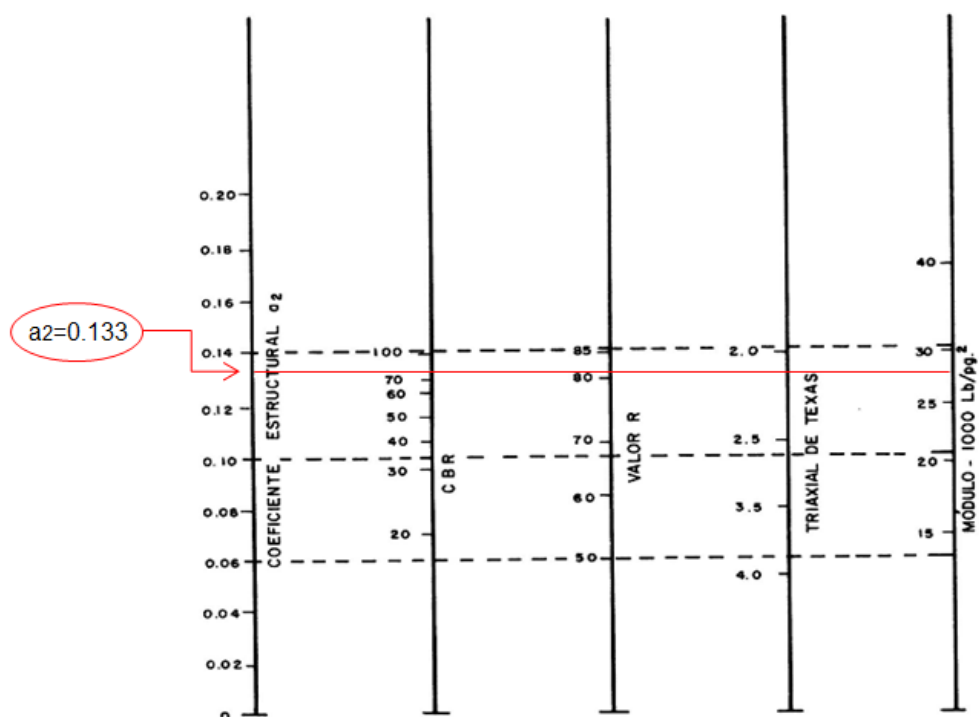
Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico 2011. MTI.

Tabla N° 1. Factores Equivalentes de Carga para Pavimentos Flexibles, Eje Simple, Pt = 2.0.

Carga p/eje (kips) ⁶	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113.	108.	97.	86.	81.	82.

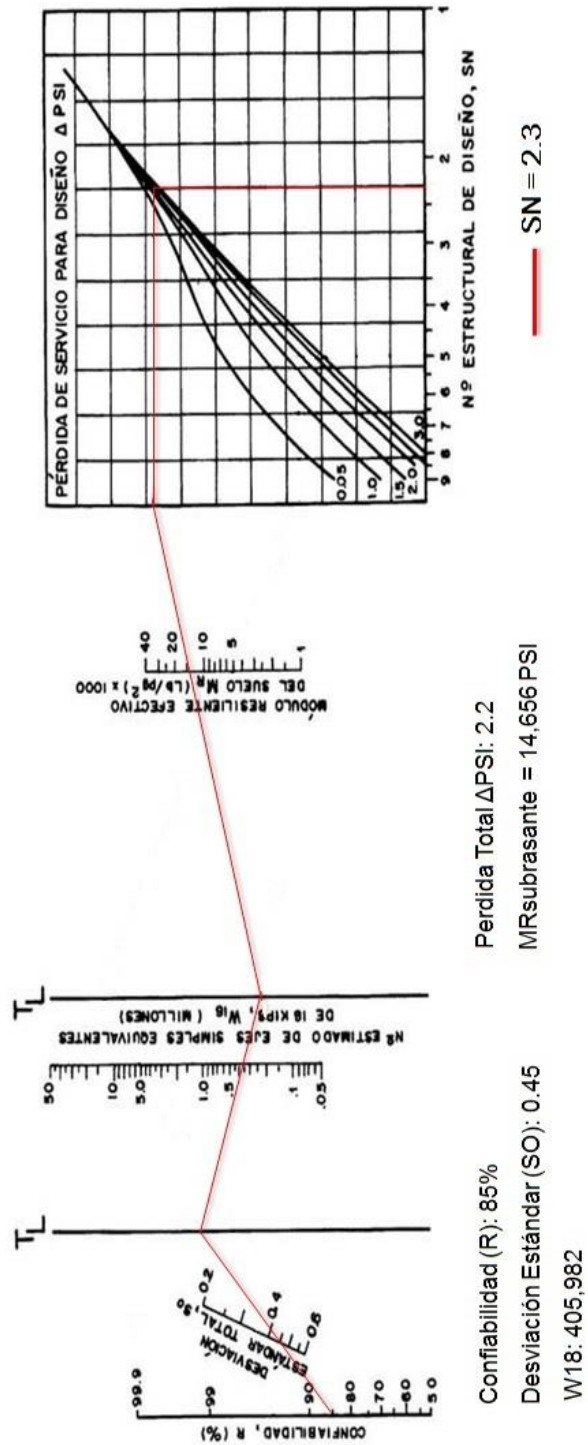
Fuente: Manual Centroamericano Para Diseño de Pavimento.

Figura N° 2. Nomograma para el cálculo del Coeficiente Estructural (a_2).



Fuente: Manual AASHTO-93.

Figura N° 3. Nomograma Diseño del SN.



Fuente: Manual AASHTO-93. Elaboración Propia.

Figura N° 4. Cálculo del Número Estructural mínimo requerido.

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Pavement Analysis: READY Page: 6
AASHTO '86 Design Equations

**** Flexible Pavement Analysis ****

[1] Design E 18's          405.982
[2] Reliability             85.00
[3] Overall Deviation       0.45

[4] Soil Resilient Mod.    14,656.0
[5] Initial Serviceability  4.20
[6] Terminal Serviceability 2.00

Flexible Structural Number  2.18

Press Enter to Continue or <↑↓> to Edit your Inputs

Special Keys: F1: HELP F2: EXIT F5: MENU <PgUp> <PgDn> <↑↓>
  
```

Fuente: Programa computarizado “Diseño y Análisis de pavimento, de la AASHTO.

Figura N° 5. Resultados de espesores requeridos para el diseño de pavimento.

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
Pavement Analysis: READY Page: 7
Flexible Thickness Determination

Layer Number   Layer Coefficient   Drainage Coefficient   Layer Thickness   a(i)*Cd*t   Thickness Needed
=====
Upper          0.45               1.00                   4.00              1.80
2              0.13               1.00                   4.00              0.53
3
4
5
6

SN Required = 2.33
              2.18   <Ok>

Press [F10] to Clear an Input & <PgDn> to Continue when finished.

Special Keys: F1: HELP F2: EXIT F5: MENU <PgUp> <PgDn> <↑↓>
  
```

Fuente: Programa computarizado “Diseño y Análisis de pavimento, de la AASHTO.